Machine ASTUS

Guide de l'utilisateur

Mode d'emploi pour la fabrication d'une pièce à l'aide de l'Appareil Simple de Thermoformage de l'Université de Sherbrooke.

Table des matières

1.0 Le thermoformage de matériaux thermoplastiques ____ *6*

1.1 Introduction au thermoformage ____ **6**

1.2 Thermoformage d'une pièce de plastique ____ **7**

1.3 Caractéristiques de fabrication d'un moule pour le thermoformage ____ **9**

2.0 Présentation de la machine ASTUS ____ *9*

2.1 Outillage de la machine ASTUS - principaux systèmes ____ **9**

2.1.1- La machine dans son ensemble ____ 9
2.1.2- Le système de chauffage : ____ 10
2.1.3 Le système de contrôle ____ 11
2.1.4 Le programme Labview ____ 11
2.1.5 Le système pour faire le vide ____ 12
2.1.6 Le système de fixation de la feuille- le cadre de serrage ____ 12
2.1.7 La planche de fixation du moule ____ 13

2.2 Limitations ____ **14**

2.2.1 Dimension de la feuille de plastique ____ 14
2.2.2 Dimension du moule ____ 14

3.0 Préparation du thermoformage d'une pièce ____ *15*

3.1 Sélection du plastique ____ **15**

3.1.1 Capacités de la machine ____ 15
3.1.2 Le chauffage des thermoplastiques ____ 15
3.1.2 Tableau descriptif des avantages et des inconvénients de chaque plastique ____ 16

3.2 La conception du moule ____ **17**

3.2.1 Sa forme et ses composantes ____ 17
3.2.2 Choix pertinent de la forme du moule. ____ 17
3.2.3 Mode de fixation du moule sur la table ____ 17
3.2.4 Réalisation des petits trous à la surface du moule ____ 18
3.2.5 Évidage du moule ____ 18

4.0 Utilisation de la machine ____ *19*

4.1 Préparation de la machine ASTUS pour thermoformer ____ **19**

4.1.1 Vérifications préalables ____ 19
4.1.2 Installation ____ 20

4.2 Le thermoformage ____ **22**

4.3 Démoulage ____ **23**

5.0 Difficultés rencontrées lors du thermoformage ____ *24*

5.1 Objets incomplets ____ **24**

5.2 Démoulage difficile ____ **24**

5.3 Défauts d'aspect et de surface ____ **24**

6.0 Règles de sécurité ____ *25*
6.1 Conditions générales ____ **25**
6.2 Conditions spécifiques à ce local ____ **25**
6.3 Règles de fonctionnement ____ **25**
6.4 En cas d'accident ____ **25**
7.0 Références ____ *26*
7.1 Bibliographie ____ **26**
7.2 Personnes références ____ **26**

Liste des figures

Figure 1 : Schéma d'ensemble d'une machine de thermoformage classique 6
Figure 2 : Moule positif et pièce formée 7
Figure 3 : Moule négatif et pièce formée 7
Figures 4,5,6,7 : Étapes du procédé de thermoformage 8
Figure 8 : Photo d'ensemble d'ASTUS 9
Figure 9 : Shéma fonctionel d'Astus 10
Figure 10 : Les éléments chauffants 10
Figure 11 : Boîtier de commande d'ASTUS 11
Figure 12 :Interface apparaissant au démarrage de l'ordinateur 11
Figure 13 : Interface 12
Figure 14 : Réservoir pour faire le vide et créer le vacuum 12
Figure 15 : Schéma du cadre de fixation de la feuille 13
Figure 16 : Table de fixation du moule et emplacement des trous pour les chevilles 13
Figure 17 : Moule usiné par Mac Gro pour le thermoformage 14
Figure 18 : Tableau récapitulatif des propriétés mécaniques des matériaux thermoformables 16
Figure 19 : Schéma du moule fini 17
Figure 20 : Schéma explicatif de la fixation du moule 18
Figure 21 : ASTUS dans son ensemble 19
Figure 22 : La feuille dans le cadre de serrage 19
Figures 23 et 24 : Alimentations de la salle et de la machine 19
Figure 25 : Ajustement de la hauteur 20
Figure 26 : Moule installé 20
Figure 27 : Installation du tuyau 21
Figure 28 : Panneau de commandant la mise en route du vide dans la pompe 21
Figure 29 : Illustration du gyrophare 21
Figure 30 : La feuille est dans le four 22
Figure 31 : Test de la feuille pour voir son évolution en transition vitreuse 22
Figure 32 : Retrait de la feuille du four et début du formage 23
Figure 33 : Assurance de l'étanchéité pour le formage 23
Figure 34 : La pièce est finie 23

Avant-Propos

Ce guide explique comment réaliser une pièce en plastique composite par le procédé de thermoformage à l'aide d'ASTUS (Appareil Simple de Thermoformage de l'Université de Sherbrooke).

Elle a été conçue par des étudiants de Génie Mécanique. Ce guide est construit de manière à vous permettre de réaliser une pièce thermoformée dans des conditions de sécurité maximum. Pour ce faire, les étapes menant à la fabrication d'une pièce ont été illustrées à l'aide d'un exemple concret et des photos illustrant le procédé.

1.0 Le thermoformage de matériaux thermoplastiques

1.1 Introduction au thermoformage

Par thermoformage, on entend la mise en forme à une certaine température d'un semi-produit pour donner une pièce en volume.

Les principales étapes sont les suivantes :

1. chauffage du semi-produit à sa température vitreuse dans le domaine thermo-élastique.
2. mise en forme, le plus souvent avec un moule de thermoformage
3. refroidissement sur le moule à une température pour laquelle la pièce conserve une forme stable
4. démoulage de la pièce ainsi obtenue.

Une machine de thermoformage se doit donc d'être constituée d'un four (1) pour le chauffage du plastique (2), d'un support pour le moule étanche (3 et 4 pour le joint d'étanchéité) et d'une pompe à vide (5) (voir la figure 1 suivante).

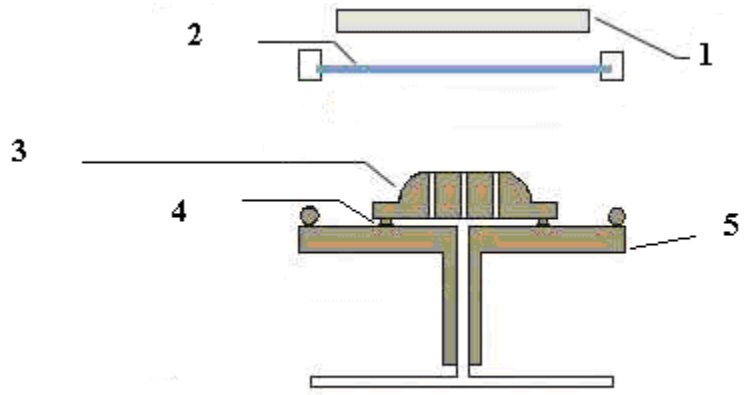


Figure 1 : Schéma d'ensemble d'une machine de thermoformage classique

Les principaux avantages :

- coûts avantageux des outils de formage et des machines
- possibilité de travailler sur des feuilles multicouches
- matériaux variés et semi-produits pré imprimés
- variété des dimensions dont des épaisseurs fines

Pour ces applications les semi-produits utilisés ont une épaisseur allant de 0,5 à 15 mm. On qualifie de thermoformable tout matériau qui est thermoplastique.

1.2 Thermoformage d'une pièce de plastique

Voici une brève description des étapes qui permettent la réalisation d'une pièce en plastiques par la méthode du thermoformage.

1- Création du modèle CAO du moule dans un logiciel de conception 3D assisté par ordinateur.

2- Fabrication d'un moule qui servira de base au thermoformage de la future pièce

Vous avez au choix de faire moule positif ou bien négatif, les critères aidant au choix sont la forme de la pièce finale, la surface sur laquelle on désire le meilleur fini (surface extérieure au moule) et bien sûr les capacités de la machine de thermoformage.

- Moule positif :

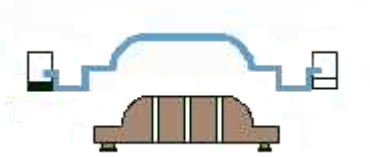


Figure 2 : Moule positif et pièce formée

- Moule négatif :

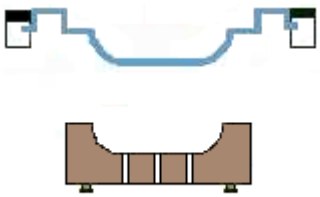


Figure 3 : Moule négatif et pièce formée

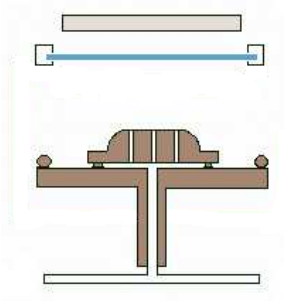
Il faut savoir que ce moule est plus délicat à thermoformer en raison de la grande quantité d'air à évacuer entre la feuille de plastique et le moule, il est cependant possible de s'aider d'outils d'appoint pour les zones négatives ou bien les moules négatifs.

Après l'usinage du moule positif (ou négatif) la surface sur laquelle le moulage sera effectué, doit être sablé pour éliminer les irrégularités. Par la suite, on applique un produit de finition, par exemple un vernis. Ce dernier permet l'obtention d'un fini complètement lisse par polissage et par sablage. Afin de faire le vide entre la feuille et le moule, on doit réaliser des petits trous dans ce moule.

3- Chauffage de la feuille de plastique.

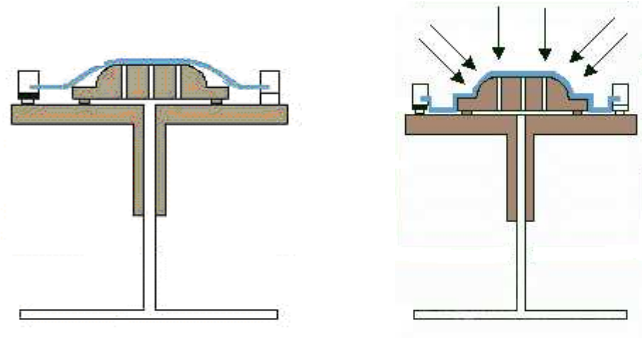
Après une vérification de la machine, on fixe la feuille de plastique sur un cadre de serrage, durant ce temps, on fixe le moule et on l'inspecte afin de chasser d'éventuelles poussières, puis on commence à faire le vide dans le réservoir.

Figures 4,5,6,7 : Étapes du procédé de thermoformage



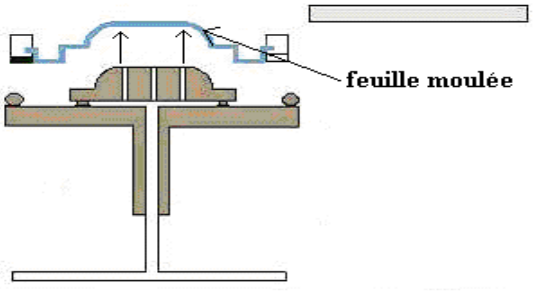
4- Thermoformage de la pièce

Une fois que la feuille de plastique est entrée en phase de transition vitreuse, on observe une forte flèche, la retirer rapidement, l'abaisser contre le moule et ouvrir le vacuum. Cette étape est importante et elle doit être réalisée rapidement.



5- Séchage démoulage et autre

Après le refroidissement la pièce peut être démoulée. Ensuite elle peut être taillée, polie ou peinte.



1.3 Caractéristiques de fabrication d'un moule pour le thermoformage

Pour le thermoformage, les moules sont en général en bois ou en plâtre pour des petites séries de production et en métal pour les plus importantes. Il faut savoir qu'à l'Université de Sherbrooke, il y a à votre disposition la machine McGrO[1] (Machine à Gruger par Ordinateur) disponible au local C2-1036 qui permet d'usiner des moules en bois à partir d'un fichier de CAO. Vous disposez donc de tout le matériel nécessaire pour la conception et la fabrication d'une pièce thermoformée à l'Université de Sherbrooke. Le moule doit aussi être percé de petits trous afin que le thermoformage sous vide puisse être réalisé.

2.0 Présentation de la machine ASTUS

Pour ce qui est d'ASTUS, on utilise un procédé simple qui est le formage sous vide. Il consiste à déposer une feuille de plastique préalablement chauffée sur un moule mâle ou femelle. Ce procédé permet de fabriquer des pièces de dimensions respectables de façon économique.

Étant donné la simplicité de l'outillage et du procédé, le formage sous vide est tout indiqué pour le développement de pièce de prototypes.

2.1 Outillage de la machine ASTUS - principaux systèmes

2.1.1- La machine dans son ensemble

La machine ASTUS est divisée en deux systèmes distincts et indépendants. Il y a le châriot qui peut se mouvoir grâce à des roues et le four fixe. La figure 9 explicite les différents liens entre les éléments et les fonctions sur lesquelles l'utilisateur peut interférer.

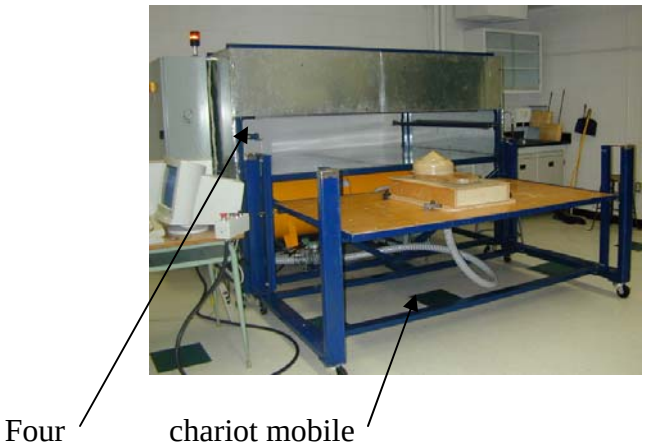


Figure 8 : Photo d'ensemble d'ASTUS

[1] http://www.conception.gme.usherb.ca/index_gcm.html?menu=mcgro_

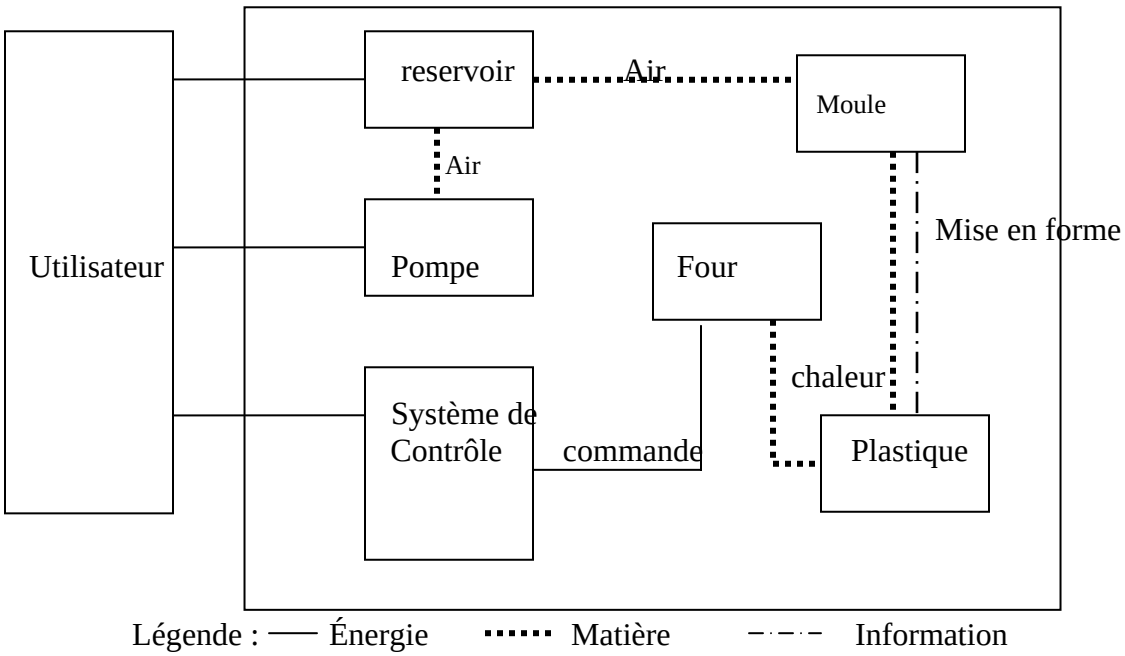


Figure 9 : Shéma fonctionel d'Astus

2.1.2- Le système de chauffage :

La machine est équipée d'un four contenant 48 céramiques qui permettent de chauffer uniformément la feuille de thermoplastique. Les céramiques ont des thermocouples qui, à l'aide d'un programme Labview permettent l'acquisition des données de températures à l'intérieur du four. Ces éléments sont contrôlés à l'aide d'une interface dans Labview.

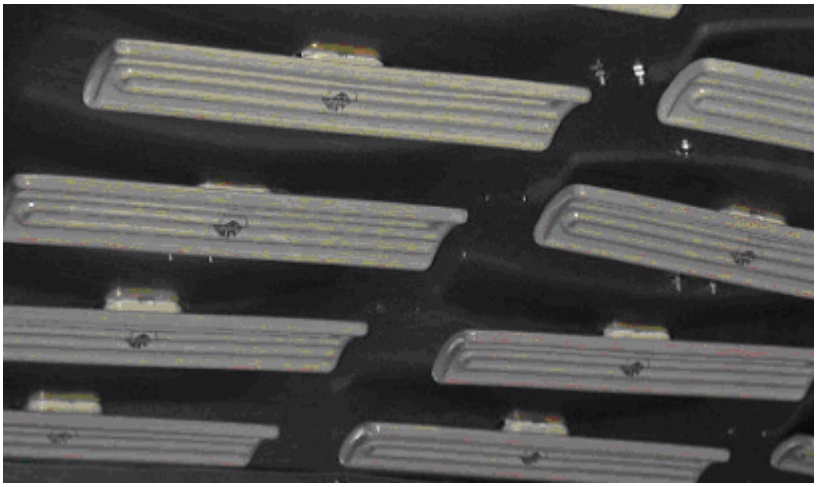


Figure 10 : Les éléments chauffants

2.1.3 Le système de contrôle

Le boîtier de commande est très simple d'utilisation.

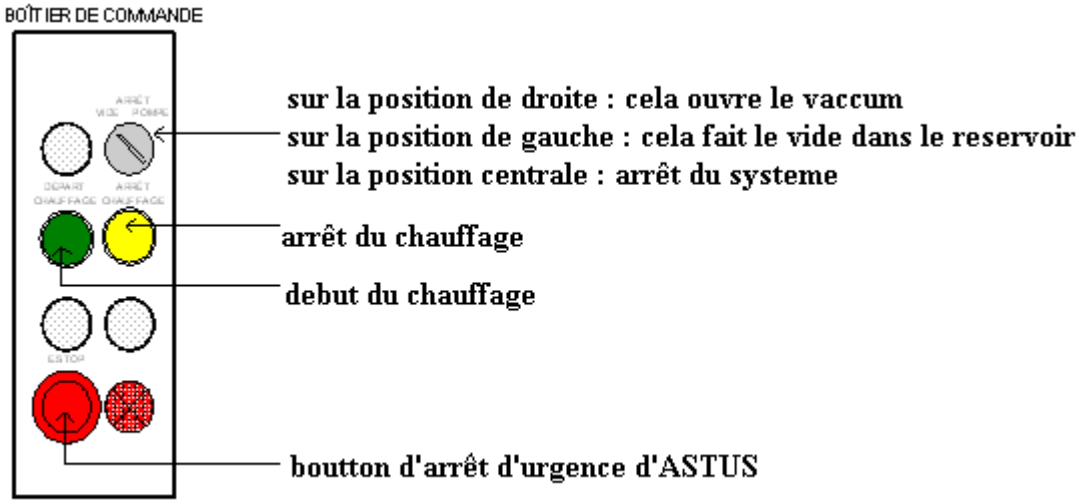

BOÎTIER DE COMMANDE
sur la position de droite : cela ouvre le vaccum
sur la position de gauche : cela fait le vide dans le reservoir
sur la position centrale : arrêt du systeme
arrêt du chauffage
debut du chauffage
boutton d'arrêt d'urgence d'ASTUS

Figure 11 : Boîtier de commande d'ASTUS

2.1.4 Le programme Labview

La figure suivante présente l'interface qui apparaît lors de la mise sous tension de l'ordinateur. Celle-ci est au point de départ. Les thermomètres indiquent l'évolution du chauffage des 5 thermocouples, chacun gérant une zone d'éléments céramiques (comme on le voit sur la figure)

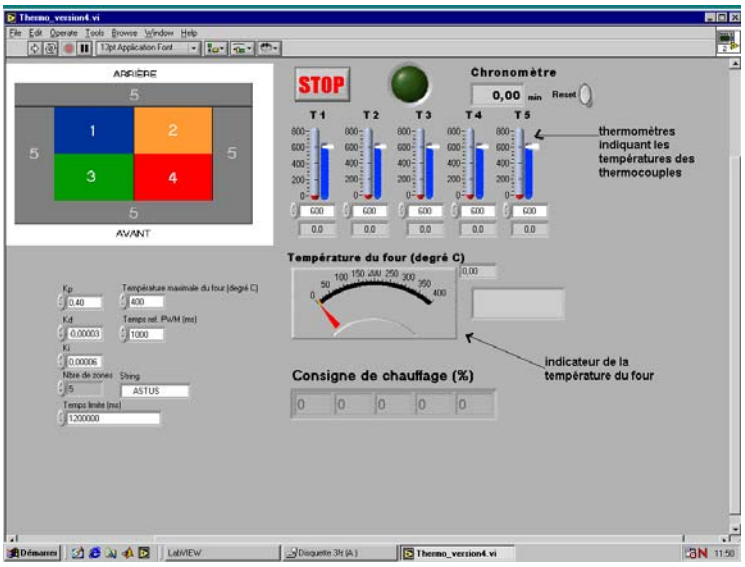


Figure 12 :Interface apparaissant au démarrage de l'ordinateur

Voici une interface relevée durant le chauffage du four; ici la température de chauffage demandée était 600°C et on remarque sur les thermomètres que les éléments de céramiques chauffent déjà à 500°.

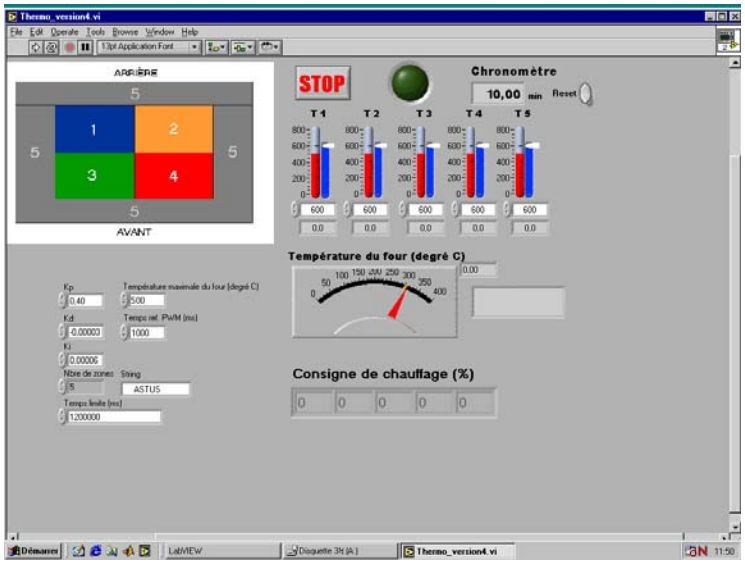


Figure 13 : Interface

2.1.5 Le système pour faire le vide

Afin de pouvoir faire le vide entre la feuille de thermoplastique et le moule, et former la pièce désirée, il est nécessaire de faire le vide au préalable dans le réservoir avec la pompe. Une fois le vide complété, il sera possible d'ouvrir la valve lors du formage ce qui créera un vacuum entre la feuille et le moule.

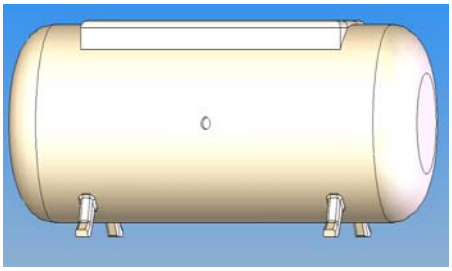


Figure 14 : Réservoir pour faire le vide et créer le vacuum

2.1.6 Le système de fixation de la feuille- le cadre de serrage

La feuille de plastique thermoformable est fixée dans le cadre avant le préchauffage. En effet, nous pouvons varier les barres transversales qui permettent de moduler une longueur. Ainsi la feuille de thermoformable pourra avoir une longueur ($L_{feuille}$) variable mais une largeur fixe de 4 pieds. La feuille est percée à sa périphérie afin de pouvoir être vissée au cadre de fixation.

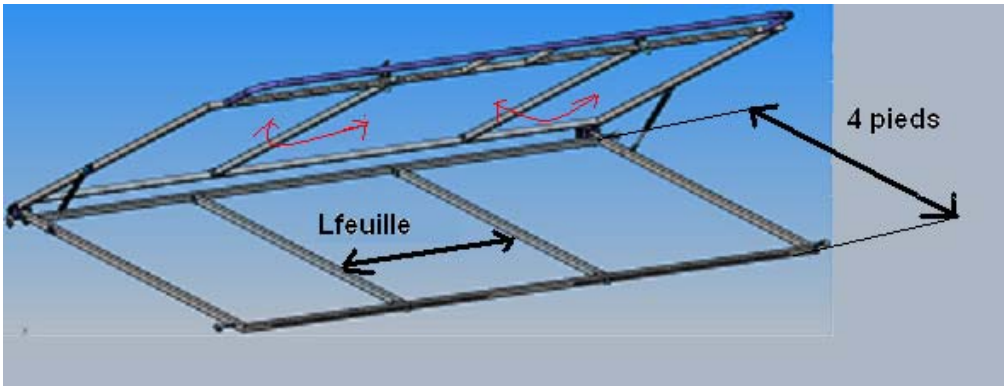


Figure 15 : Schéma du cadre de fixation de la feuille

2.1.7 La planche de fixation du moule

La table sur laquelle est fixée le moule est percé de trous, vous devez en tenir compte pour la conception de votre moule (voir figure 16). Cependant les distances indiquées sont approximatives. Pour fixer le moule à la planche de fixation vous devez utiliser une série de chevilles de fixation entre le support du moule et une planche sur laquelle est collé le moule) taillée sur mesure.

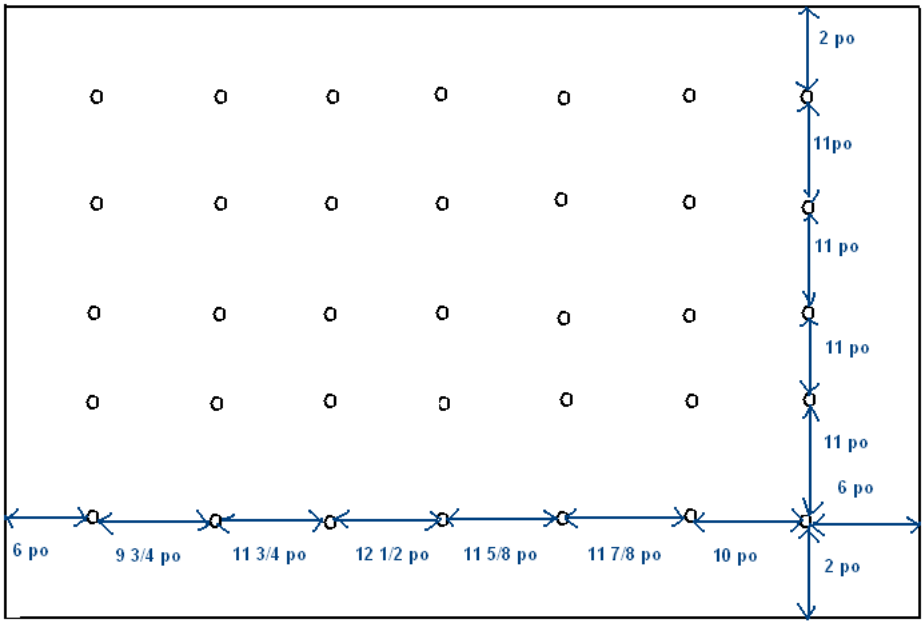


Figure 16 : Table de fixation du moule et emplacement des trous pour les chevilles

2.2 Limitations

2.2.1 Dimension de la feuille de plastique

On a donc remarqué précédemment que la largeur de la feuille était fixe à 4 pieds. Cependant, la longueur peut varier de 12 po. à 96 po. L'épaisseur est aussi variable, de 0.5 mm à 6 mm. Toutefois, une feuille de 6 mm nécessitera un chauffage très graduel afin de ne pas brûler un coté de la feuille.

2.2.2 Dimension du moule

Tenant compte d'un support pour le moule et de la table de fixation du moule, les dimensions maximum seraient de l'ordre de 30 po de largeur par 50 po de longueur et 20 po de hauteur. Cette hauteur n'inclus pas la caisse sur laquelle doit se trouver le moule afin de préserver une bonne étanchéité (voir la figure 17).

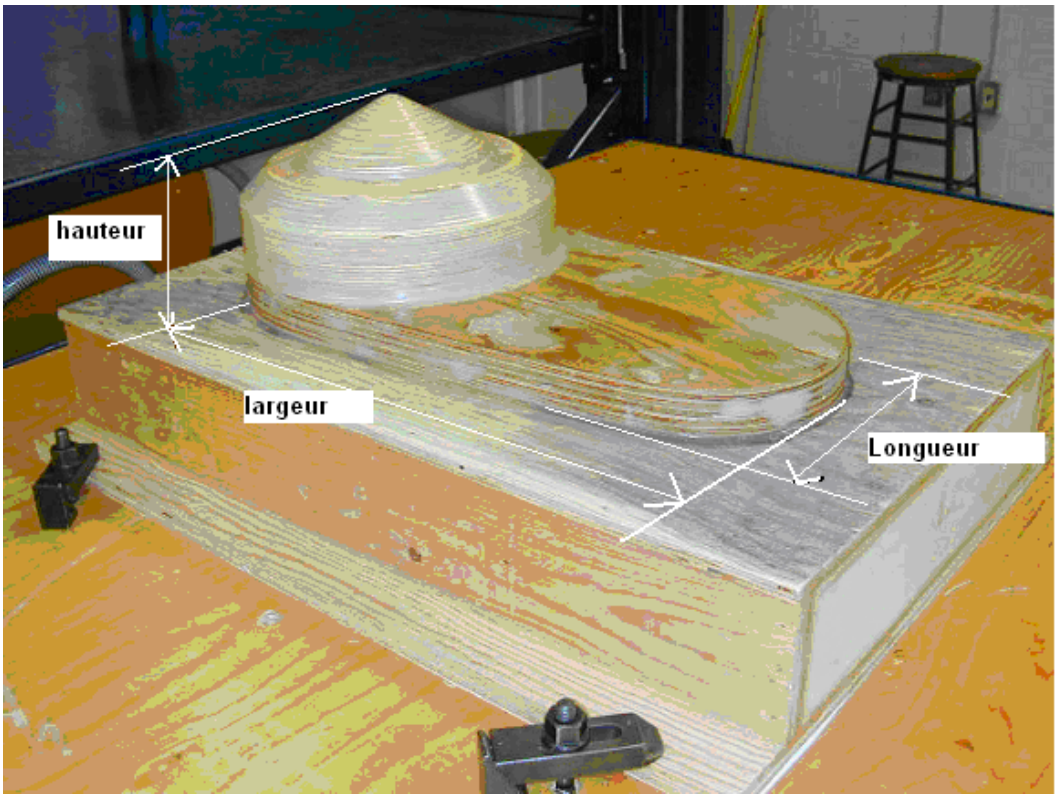


Figure 17 : Moule usiné par Mac Gro pour le thermoformage

3.0 Préparation du thermoformage d'une pièce

3.1 Sélection du plastique

3.1.1 Capacités de la machine

ASTUS a été conçu pour permettre la thermoformabilité de multiples matériaux comme nous l'avons vu précédemment. Vous avez le choix entre ABS, ASA, PC, PE, PEC, PMMA, POM,PP, PS et PVC.

3.1.2 Le chauffage des thermoplastiques

- Le comportement des thermoplastiques durant la phase de chauffage

La nature du système de chauffage influence d'autant sur le temps de chauffage. Si on utilise un four qui possède uniquement un système de chauffage d'un seul coté de la feuille, le temps de chauffage se verra rallongé. De plus, le temps de chauffage d'un semi-produit de thermoplastique dépend de bien d'autres facteurs comme la nature du plastique, sa couleur et son épaisseur. En effet, le temps de chauffage croit proportionnellement avec l'épaisseur du semi-produit car les plastiques sont en général de mauvais conducteurs thermiques. Il est important d'avoir la même température aussi bien à la surface qu'à l'intérieur de la feuille de thermoplaste.

Dans la pratique, le chauffage est exécuté suivant le régime du chauffage maximal au début puis constamment modulé à la baisse durant la suite du chauffage. Si la température du semi-produit est inférieure à celle de déformation, la mise en forme n'aura pas lieu, donc tout ce trouve dans l'évaluation visuelle que vous ferez (quand la température vitreuse sera atteinte), une large déformation de la feuille sera observé avec une flèche de plusieurs pouces.

Il faut savoir aussi qu'un semi-produit chauffé lentement **est plus facilement formable** et les qualités mécaniques de la pièce formée meilleures que si le semi-produit est chauffé rapidement jusqu'à la limite de dégradation, les propriétés mécaniques sont moins bonnes voire altérées. (cf. section du comportement du semi-produit à la friction).

Sachant que ASTUS n'autorise le chauffage que d'un seul coté, il est recommandé de ne pas dépasser les 3mm d'épaisseur pour le semi-produit et d'avoir un chauffage graduel de la feuille.

- Le comportement des thermoplastiques durant la phase de refroidissement.

On est tous conscient qu'au début de la phase de thermoformage, le semi-produit de thermoplastique doit encore avoir la température nécessaire au thermoformage. On doit donc veiller à ce que le temps pris pour déposer la feuille sur le moule et l'ouverture de la valve du réservoir à vacuum soit le plus court possible. Sur ASTUS, un refroidissement intensif se produit au contact du moule. Le formage ne prend que quelques dixièmes de seconde pour une feuille mince (jusqu'à quelques secondes pour une feuille plus épaisse).

3.1.2 Tableau descriptif des avantages et des inconvénients de chaque plastique

Sigle	Nom exact	T° transition vitreuse en degrés Celsius	ρ en Mg/m^3	E en GPa	σ en MPa
ABS	Acrylonitrile Butadiène Styrène	87-127		1,1-2,9	18-51
ASA	Acrylonitrile Styrène ester-Acrylique	90	1,01-1,21		
PC	Polycarbonnate	141-204	1,14-1,21	2,00-2,44	59-70
PMMA	Poly méthacrylate de méthyle	84-164	1,16-1,22	2,24-3,8	53-72
POM	Polyoxyméthylène	170-180			
PS	Polystyrène	80	1,04-1,05	1,2-2,6	29-56
PVC	Polychlorure de Vinyle	75-80	1,3-1,58	2,14-4,14	35-52

Figure 18 : Tableau récapitulatif des propriétés mécaniques des matériaux thermoformables

Ces valeurs sont prises en majorité du logiciel CES4; d'après ce tableau, il est conseillé pour le thermoformage d'utiliser de l'ABS, du PC ou bien du PMMA. Les raisons de ce choix sont que ce sont trois matériaux qui peuvent être découpés et soudés par la suite, de plus l'ABS et le PMMA peuvent être collés sans difficultés suite au thermoformage.

3.2 La conception du moule

3.2.1 Sa forme et ses composantes

La description détaillée de la construction d'un moule en bois est faite dans le guide de l'utilisateur de la machine Mc Gro. Toutefois des règles de conception du moule s'ajoutnte pour ce type de procédé si vous souhaitez l'utiliser sur la machine de thermoformage ASTUS de l'Université de Sherbrooke.

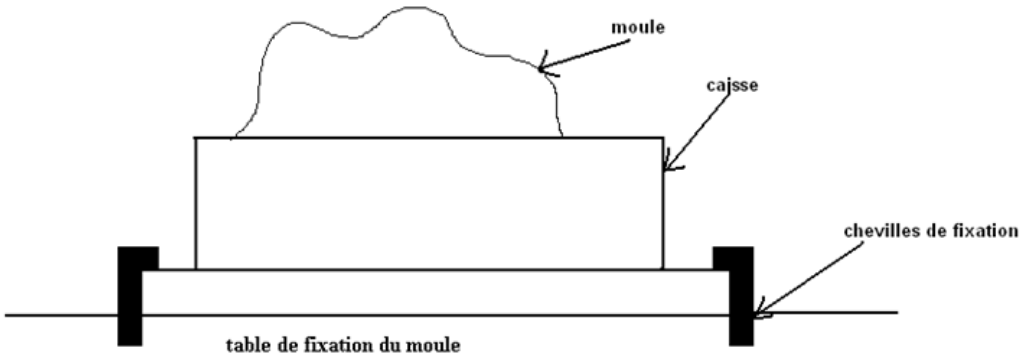


Figure 19 : Schéma du moule fini

3.2.2 Choix pertinent de la forme du moule.

Comme cela a été expliqué précédemment, il est possible de thermoformer sur les moules négatifs ou positifs. Cependant le principal défaut des moules négatifs (ou en creux) est du à l'étirement maximal vers le bord et minimal vers le fond, i.e. il se produit un amincissement important sur les bords ou bien une accumulation de matière inutile dans le fond.

Sur ASTUS, il est recommandé d'utiliser des moules positifs (aucun test n'a, pour l'instant, était effectué sur un moule entièrement négatif). Cependant, il peut y avoir des zones concaves sur un moule en relief. Il existe un procédé dans l'industrie qui consiste à assister le formage à l'aide d'un piston. Vous pouvez avoir à votre disposition des tiges aux bouts semi-hémisphériques permettant de pousser légèrement la feuille lors du formage.

3.2.3 Mode de fixation du moule sur la table

Comme vu précédemment dans le paragraphe 2.1.7, les trous sont déjà faits au préalable sur la table de serrage, support du moule. Il convient donc de réaliser une planche sous le moule afin de pouvoir se conformer à ses dimensions et le tout est fixé sur le support à l'aide de chevilles de fixation (comme illustré sur la photo suivante).

Figure 20 : Schéma explicatif de la fixation du moule

3.2.4 Réalisation des petits trous à la surface du moule

Les moules comportent des trous d'évents qui permettent l'aspiration de l'air. Ils doivent avoir un diamètre de 0.5 à 1 mm au plus du coté de l'empreinte du moule. Il est conseillé d'évider le moule pour un thermoformage sur ASTUS afin de n'avoir à créer le vide qu'à l'intérieur du moule et non de la boite entière. Ils doivent être suffisamment nombreux pour permettre une évacuation rapide de l'air. Les emplacements de ces évents satisfont davantage des règles heuristiques. Il est logique que les zones ayant un gradient de déformation important de la feuille requiert un nombre plus important de trous. Il est recommandé de ne pas dépasser les 300 trous quelque soit la superficie de votre moule. Dans le moule de l'essai suivant, il y a environ 50 trous pour une taille de 2 pieds de long par 1 pied de haut et de large.

3.2.5 Évidage du moule

Pour satisfaire à l'opération de thermoformage sous vide, le moule doit être évidé afin de pouvoir créer un réservoir pour faire le vide. Celui- peut être évidé grossièrement. Pour ce faire on peut utiliser sur McGrO un programme similaire en demandant d'usiner à 2 pouces de décalage. L'usinage sur McGrO s'effectue par feuille donc cette étape devrait elle aussi s'effectuer par feuille. Enfin, il ne faut pas oublier de placer un joint d'étanchéité entre le moule et la table de serrage afin que l'aspiration se fasse correctement.

4.0 Utilisation de la machine

4.1 Préparation de la machine ASTUS pour thermoformer

4.1.1 Vérifications préalables

- Rapprocher les deux parties de la machine afin de réduire la distance à parcourir avec le cadre. Fixer la feuille dans le cadre de serrage.

Figure 21 : ASTUS dans son ensemble

Figure 22 : La feuille dans le cadre de serrage

- Brancher l'alimentation à deux endroits, soit la boite à fusibles et le panneau de contrôle de la machine. (si ce n'est pas déjà fait).

Figures 23 et 24 : Alimentations de la salle et de la machine

- Démarrer l'ordinateur. Le programme d'asservissement est contrôlé par un programme Labview. (se renseigner au préalable pour les codes d'accès)

- Vérifier l'état général d'ASTUS avec une attention particulière aux céramiques.

4.1.2 Installation

- Installer le moule
  - Ajuster la hauteur du support du moule manuellement avant d'y fixer le moule.

Figure 25 : Ajustement de la hauteur

  - Fixer le moule sur la table de serrage, ne pas oublier de centrer le trou du vacuum et vérifier l'étanchéité.

Figure 26 : Moule installé

  - Inspecter le moule et le support afin qu'ils soient exempts de poussières.

  - Brancher le tuyau flexible sous la table de serrage.

Figure 27 : Installation du tuyau

- Mettre la pompe en route afin de faire le vide autour de 25 po de Hg dans le réservoir.

Figure 28 : Panneau de commandant la mise en route du vide dans la pompe

- Démarrer le système de chauffage. Il y a environ 25 minutes de préchauffage du four, et le four atteint environ 250-300 degrés. Cela met en route un gyrophare qui prévient le fonctionnement du four.

Figure 29 : Illustration du gyrophare

- Installer la feuille dans le four. Pousser le cadre de serrage manuellement. Il y a environ 20 minutes de chauffage pour une feuille de 4 mm d'épaisseur mais ce temps varie en fonction du plastique choisi et de l'épaisseur de celui-ci.

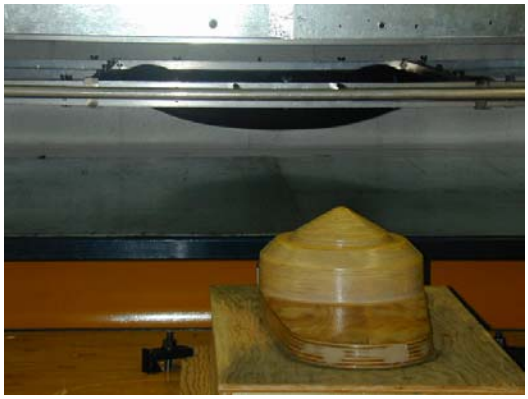


Figure 30 : La feuille est dans le four

4.2 Le thermoformage

- Quand la feuille est prête (voir pour les conditions de thermoformage dans les descriptifs des matériaux), c'est à dire qu'elle est entrée en phase de transition vitreuse (i.e. son aspect semble liquide et une forte flèche est observée, le technicien vous indiquera comment le remarquer), la retirer rapidement à 2 ou 3 personnes et l'abaisser contre le moule. Attention, vous devez faire très vite. On ne possède pas de moyen de connaître la température de la feuille sans en abîmer sa surface, c'est pourquoi les températures données précédemment ne sont que des indicateurs et que l'évaluation de la feuille se fait visuellement

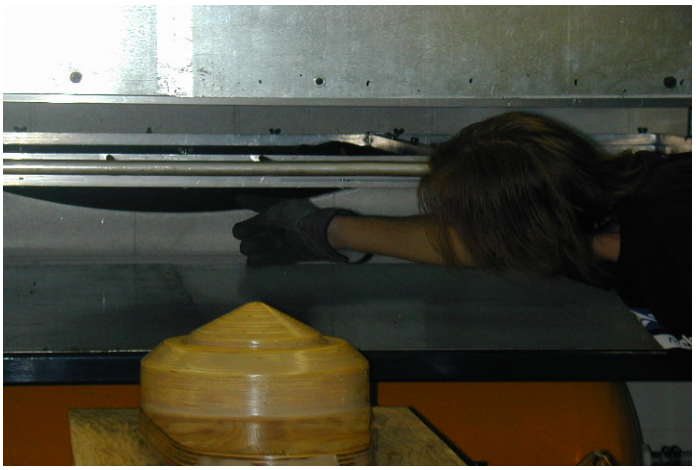


Figure 31 : Test de la feuille pour voir son évolution en transition vitreuse

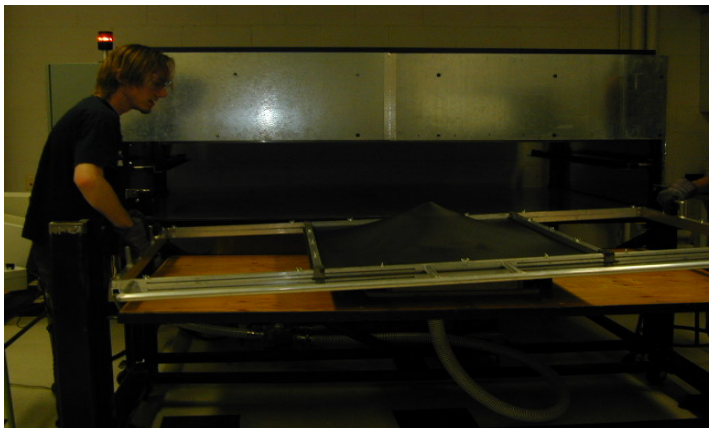


Figure 32 : Retrait de la feuille du four et début du formage

- Ouvrir le vacuum pour permettre que la feuille soit isolée et se forme.

Figure 33 : Assurance de l'étanchéité pour le formage

4.3 Démoulage

- Attendre que la pièce soit totalement refroidie pour démouler.

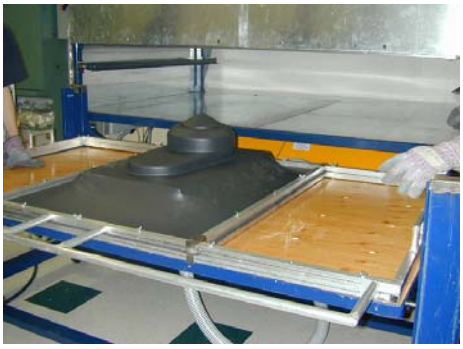


Figure 34 : La pièce est finie

5.0 Difficultés rencontrées lors du thermoformage

Lors de l'utilisation de ce procédé, principalement au moment des premiers thermoformages d'une nouvelle série, de nombreuses difficultés peuvent survenir.

5.1 Objets incomplets

La feuille ne s'est pas appliquée sur tous les détails du moule donc la finition de la pièce n'est pas parfaite et ne correspond pas à celle attendue. Il existe plusieurs causes à ce défaut, les voici classées par ordre d'importance.

- Le semi-produit de plastique était trop froid résultant soit d'un chauffage pas assez long, soit que la température du four était trop basse.
- L'aspiration s'est mal faite voir pas du tout. Le semi-produit n'a pas bien adhéré sur le moule, ou bien un pli s'est formé dans le plastique à cet endroit
- Il est possible aussi que ce soit le joint d'étanchéité entre le moule et la table de serrage qui est défectueux ou bien que les évents soient bouchés.
- Si aucune de ces causes ne peut être retenue pour justifier les défauts, il faudra se demander si ce n'est pas la conception du moule qui comporte trop de zones concaves (ou bien que celles-ci soient trop profondes par rapport à la capacité de vide de notre réservoir). Ou bien encore si le nombre d'évents est suffisant.

5.2 Démoulage difficile

Il se peut que le vacuum n'ai pas été coupé après le formage de la pièce. Il arrive aussi que l'entrée de l'air entre la pièce et le moule se fasse difficilement, dans ce cas, le démoulage peut être facilité par l'envoi d'air comprimé entre la feuille et le moule.

5.3 Défauts d'aspect et de surface

Dans le cas de plastiques transparents, si l'étirement imposé à la matière est trop important, la surface blanchit dans les parties les plus étirées. Autre cas, si le semi-produit de plastique est trop chaud et/ou le vide trop important, il peut y avoir la formation de petit boutons à la surface de la pièce formée au endroits des évents.

6.0 Règles de sécurité

6.1 Conditions générales

- TOUJOURS AVOIR UN TECHNICIEN AVEC VOUS POUR OPÉRER SUR LA MACHINE
- Portez en tout temps des lunettes de sécurité agrées, votre sarrau boutonné et des souliers fermés (préférablement avec des embouts protecteurs)
- Enlevez tout bijou et attachez vos cheveux s'ils sont longs
- Repérez l'emplacement des dispositifs de secours
- Travaillez toujours en compagnie d'une autre personne.
- Conservez toujours les produits dangereux, si autorisés, dans des contenants fermés.
- Évitez d'obstruer les allées et les entrées.

6.2 Conditions spécifiques à ce local

- Le port de verre de contact est déconseillé
- Démarrez la ventilation quand les travaux sont commencés
- Tenez les portes fermées en tout temps
- Évacuez le local dès l'arrêt de la ventilation (alarme incendie ou bien panne de courant)

6.3 Règles de fonctionnement

- Consultez les techniciens responsables du local d'ASTUS
- Seulement les étudiants autorisés au préalable peuvent y avoir accès et utiliser la machine.
- Les outils et machines disponibles dans ce local ne doivent en aucun cas sortir.
- Avant de quitter, veillez à nettoyer votre poste de travail et la machine si dégâts il y a eu.
- Avisez un technicien de tous bris.
- Boissons et nourritures sont interdites.

6.4 En cas d'accident

- Demandez l'aide d'un technicien
- Composez le 811 service de sécurité de l'Université de Sherbrooke
- Informez dès que possible le Département de génie mécanique au 7144.

7.0 Références

7.1 Bibliographie

- Pour des renseignements complémentaires sur la fabrication d'autres sortes de moules :

  J.GOSSOT, *Les matières plastiques*, Dunod technologie, BORDAS, Paris, 1977, 357p (à voir p. 183 à p. 189)

- Pour davantage de renseignement sur les plastiques et leur utilisation :

  - J.-P. TROTIGNON, *Matières plastiques, structures-propriétés, mise en œuvre, normalisation*, Précis, NATHAN, Paris,1999, 232p.

  - A. ILLIG, Pratique du thermoformage, HERMES, Paris, 1999, 302p.

  - CES4

7.2 Personnes références

Claude DUGAL, technicien au département de Génie mécanique, à contacter pour l'utilisation de la machine (obtention des clefs, etc …)

Denis IMBEAULT, technicien au département, à contacter pour avoir les codes d'accès de l'ordinateur et davantage d'explication sur le programme Labview.